中国生态农业学报 2016 年 12 月 第 24 卷 第 12 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Dec. 2016, 24(12): 1674−1682

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160634

基于 GGE 分析的西北内陆棉区纤维品质生态区划分*

唐淑荣[1,2] 许乃银[3] 杨伟华[2] 魏守军[2] 周治国[1**]

(1. 南京农业大学/农业部作物生长调控重点开放实验室 南京 210095; 2. 中国农业科学院棉花研究所/棉花生物学国家重点实验室 安阳 455000; 3. 江苏省农业科学院经济作物研究所 南京 210014)

摘 要 本文选用 2005—2014 年我国棉花区域试验西北内陆早熟棉区 7 个和早中熟棉区 10 个试验点作为试验环境进行纤维品质区域分布分析。运用 GGE 模型划出双标图，研究西北内陆棉区的试验环境与参试品种纤维品质性状互作模式，对参试品种性状选择适宜的生态区进行探讨与划分，并基于 GGE 双标图对纤维物理性能指标相关性进行研究，为西北内陆棉区棉花品种区域化种植和理想试验环境选择提供依据。结果表明：(1)棉花各纤维品质性状相互之间存在着一定的相关关系，纺纱均匀性指数与长度、比强度和整齐度指数表现极显著或显著正相关。(2)西北内陆棉区早熟组纤维品质性状可划分为 3 个生态区：优质棉纤维生态区(精河)、普通优质纤维生态区(兵团第六师昌吉、乌苏)、普通纤维生态区(兵团第七师 125 团、兵团第八师 121 团、石河子以及敦煌)。(3)西北内陆棉区早中熟组品质性状由优质到普通亦可划分为 3 个生态区：优质纤维生态区(莎车、轮台、巴州、库车、疏附、兵团第一师阿拉尔 13 团以及新疆塔河 10 团)、普通优质纤维生态区(麦盖提和兵团第三师喀什)、普通纤维生态区(阿克苏)。因此西北内陆早熟棉区应在注重品种早熟性选育的基础上，注重优质纤维综合品质性状的培育，提高纤维的长度和比强度。南疆的早中熟棉区，注重推选适合机采棉的长度和比强度的棉花品种外，应精准掌握合理的棉花采摘期，提高纤维成熟度，但要注重降低马克隆值，划分优化种植区域为棉纺企业合理用棉提供多层次的原棉材料。

关键词 棉花(*Gossypium hirsutum* L.) 纤维品质 GGE 模型双标图 生态区划分

中图分类号: S562.03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)12-1674-09

Ecological regionalization of cotton fiber quality in the Northwest Inland Region using GGE analysis*

TANG Shurong[1,2], XU Naiyin[3], YANG Weihua[2], WEI Shoujun[2], ZHOU Zhiguo[1**]

(1. Nanjing Agricultural University / Key Laboratory of Crop Growth Regulation of the Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Cotton Research of Chinese Academy of Agriculture Sciences / State Key Laboratory of Cotton Biology, Anyang 455000, China; 3. Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract This paper analyzed the distribution characteristics of cotton fiber quality using environmental materials from 7 sites of early-maturing and 10 sites of medium-early maturing cotton of regional trials in the Northwest Inland in China during 2005–2014. Using the GGE model to draw biplots, cotton fiber quality performance and environmental interaction patterns and the correlation between spinning consistency index and fiber trait were explored, and the GGE biplot method was also used to zone potential ecological sub-regions. The aim of the study was to provide the basis for regional cultivation of cotton varieties, and the ideal experimental environment in the Northwest Inland for improving cotton fiber and yarn quality in the country. The research results showed that cotton fiber quality traits were correlated with each other. The spinning consistency index

* 中国农业科学院科技创新工程“棉花质量安全与风险评估”(CAAS-ASTIP-2016-CCRI)资助
** 通讯作者：周治国，主要从事作物栽培、生理和生态方面的研究。E-mail: giscott@njau.edu.com
唐淑荣，主要从事棉花纤维品质检测与研究。E-mail: tangshurong2008@126.com
收稿日期: 2016−07−18 接受日期: 2016−09−09

* Founded by the Sciences and Technology Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS-ASTIP-2016-CCRI)
** Corresponding author, E-mail: giscott@njau.edu.com
Received Jul. 18, 2016; accepted Sep. 9, 2016

significantly positively correlated with fiber length, strength and index uniformity. The cultivation regions were divided into three ecological sub-regions based on cotton fiber quality in the early maturing cotton cultivation area. These sub-regions included the high quality cotton fiber ecological sub-region (i.e. Jinghe), the common high quality fiber ecological sub-region (Sixth Divisions of Agricultural Production and Construction Corps in Xinjiang, i.e., ACD6 and Usu City) and the common fiber ecological sub-region (Dunhuang, 125 Tuan of ACD7, 121 Tuan of ACD8 and Shihezi). The medium-early maturing cotton cultivation area in the Northwest Inland was also divided into three sub-regions. They were the high quality cotton fiber ecological sub-region (Yarkand, Luntai, Bazhou, Kuqa, Shufu, 13 Tuan and 10 Tuan Tahe of Alaer ACD1), the common high quality fiber ecological sub-region (Maigaiti and Kashi of ACD3) and the common fiber ecological sub-region (Aksu). It was therefore important to cultivate the early maturing cotton with good comprehensive quality traits, and to improve fiber length and strength in the early maturing cotton cultivation area of the Northwest Inland. In the medium-early maturing cotton region, cotton varieties with specific length and strength suitable for mechanical weaving requirements should be cultivated, and the harvest time also should be reasonable to increase fiber maturity and reduced micro-naire. Regionalization of optimized cultivation area for cotton spinning requirements could provide multi-level raw cotton materials in the Northwest Inland.
Keywords　Cotton (*Gossypium hirsutum* L.); Fiber quality; GGE biplot; Ecological regional division

西北内陆棉区是以新疆为主的棉区，目前是我国第一大主产棉区，位于六盘山以西，北纬 35°以北、东经 105°以西，包括新疆、甘肃河西走廊及沿黄灌区。植棉气候资源优势明显，气候干燥，光照充足、阳光辐射强、日照时间长、温差大，具备黄河流域和长江流域棉区所不及的有利气候条件，有利于棉花稳长和吐絮，经济产量系数高。但土壤地力瘠薄，水资源贫乏，限制了棉花(*Gossypium hirsutum* L.)生产的发展。适宜早熟、早中熟陆地棉或海岛棉的种植。新疆地区棉花生产规模优势突出，是理想的棉花生产基地[1]。我国棉花生产的主要区域经历了由南向北、由东向西北的变化，棉花主要生产区域仍然具有继续向西北地区转移的潜力。新疆棉花单产水平居于国内领先地位，从棉花纤维的综合品质来看，棉花品质既优于其他棉区又高于全国平均水平[2]。但随着国内纺织技术的不断革新，现代纺织工业对纤维品质性状的要求越来越高[3]，多数纺织企业考虑到原棉品质与低成本，最近几年引进澳棉、美棉比例增加，因此，新疆棉区棉花生产提质增效成为最近一个时期的重要目标。近年来我国棉花品种审定的不少，但缺乏长、强、细均衡达标的优质品种，尤其新疆的棉花受气候影响，纤维比强度偏低是限制纤维品质等级提高的主要因子，对品种生态区进行适宜的划分显得非常重要[4]。冯泽芳[5]把我国棉花种植区域划分三大棉区(黄河流域、长江流域、华南棉区)，到 20 世纪 50 年代又进一步划分成五大棉区(黄河流域、长江流域、华南、北部特早熟棉区和西北内陆棉区)。我国主要产棉区集中在长江流域、黄河流域和西北内陆棉区。根据棉花生育所需主要条件，选用热量指标≥10 ℃活动积温 3 400 ℃以上、无霜期在 160 d 以上，最热月 7 月份平均温度 24 ℃，≥15 ℃持续日数 140 d 以上气温为区划指标。研究学者[6–13]从不同角度对我国棉花区域进行划分，将新疆棉区划分为中熟棉、早中熟棉、早熟棉、特早熟棉 4 个亚区，把黄河流域划分为 3 个棉纤维品质生态亚区；从品种的生态适应性，把长江流域划分为“中等品质生态区”、“高长度与比强度生态区”、“低马克隆值生态区”。许乃银[14]利用 GGE 双标图中的“适宜品种与环境组合”将在多次试验中具有共同最佳品种的试点聚类为一个品种生态区，有目的进行品种选择以提高育种效率。俞世蓉[15]、王磊等[16]和 Crossa 等[17]通过对多环境试验中试点进行相似性聚类分析。Ebdon 等[18]、Yan 等[19–21]和 Bradu 等[22]提出了将基因型主效(G)与基因型(G)与环境互作效应(E)相结合，形成基因型主效加基因型与环境互作效应模型(GGE)的观点，并与双标图技术相互藕合，推出了 GGE biplot explorer 软件，用双标图方法来图解主成分分析(PCA)或特征值分解(SVD)双向数据表所得出的结果，作图直观、操作简单，是分析品种区域试验的理想方法。目前已在甘蔗(*Saccharum sinensis* Roxb.)[23]、油菜(*Brassica campestris* L.)[24]、大豆[*Glycine max* (L.) Merr.)][25]、小麦(*Triticum aestivum* L.)[26]等农作物品种试验数据分析中得到了应用。许乃银等[27]利用 GGE 模型对长江流域棉花品种区域试验中参试品种的生态适应性分布进行了研究。本文以 2005—2014 年国家棉花品种区域试验西北内陆棉区早熟组和早中熟组区域试验 17 个试点数据进行统计分析，采用 GGE 双标图中的“环境–性状”功能图将目标区域划分成几个相对同质的品种生态区，以提高纤维品质性状选择和试验环境评价的精确性，从而有针对性地进行生态区域纤维品质划分，将西北内陆棉区划分为适宜的

品种生态区。通过研究为棉花育种品质指标制定、品种区试审定、区域化种植提供理论依据和决策支持，为纺织企业合理配棉提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验设置

数据来源于2005—2014年国家棉花品种区域试验，西北内陆棉区早熟组和早中熟组。西北内陆棉区早熟棉花品种区域试验试点设置在新疆乌苏、石河子农垦科学院、精河、兵团第八师121团、兵团第七师125团、兵团第六师昌吉和甘肃敦煌等7个试点；西北内陆棉区早中熟棉花品种区域试验试点设置在新疆麦盖提、疏附、莎车、库车、兵团第一师阿拉尔13团、兵团第三师喀什、轮台、巴州、塔河阿拉尔10团和阿克苏等10个试点。试验采用随机区组排列，重复3次，小区面积20 m^2，株距依设置密度而不同。田间管理参照当地高产田管理实施。

1.2　测定内容和方法

各区域试点于棉铃吐絮盛期在各小区中选取棉株中部果枝50个正常吐絮的棉铃，晒干轧花后的皮棉作为纤维品质测试样品，由农业部棉花品质监督检验测试中心采用瑞士乌斯特公司生产的HVI大容量纤维测试仪系列仪器检测，在恒温恒湿条件下[(温度为(20±2) ℃；相对湿度(65±3)%)]对样品进行48 h平衡调试。测试指标包括纤维上半部平均长度、比强度、马克隆值、伸长率、反射率、黄度、整齐度指数、纺纱均匀性指数8个纤维品质指标。采用HVICC校准棉样校准仪器，充分保证检测的可靠性。每份样品测定3次重复，试验方法采用GB/T 20392—2006《HVI棉纤维物理性能试验方法标准》。依据GB 1103.1—2012《棉花 第1部分：锯齿加工细绒棉》和GB 1103.2—2012《棉花 第2部分：皮辊加工细绒棉》标准进行评价。

1.3　统计与分析方法

1.3.1　GGE模型分析

对2005—2014年国家棉花品种区域试验西北内陆棉区17个试点的纤维品质，利用GGE Biplot软件简化制图程序，读入原始数据，并基于数据中心化和数据定标方法产生双标图，进行试验环境中心化的主成分分析[28−29]，绘制出GGE双标图。根据试验环境图标在双标图中的距离和向量夹角的大小等图形元素来表达试验环境间的关系，纤维品质性状和试验环境图标的相对位置则表达了性状与环境的互作模式。在一张图上给出品种的纤维指标和试点的图标，比较纤维指标和试验环境在坐标系中的空间关系，判断纤维指标在这些试验环境的品质表现，划出试点的生态区分布区域，用椭圆形虚线把试验环境包围起来，作为一个生态区，并判断品质性状之间的相关性。纤维品质性状向量间的夹角大小表示了指标性状之间的相关性，两向量间夹角是相关性强弱的标志，夹角越小则相关性越强，锐角为正相关，钝角为负相关，直角为不相关；两个性状向量夹角的余弦值就是相应性状间的相关系数。Xu等[30]分析长江流域的纤维品质性状表型值除了受品种的遗传因素控制外，还受多种环境因素以及品种与环境交互作用的综合影响。试验环境(试验点)向量在品质性状向量上的垂直投影长短表示该性状在相应试验环境中表型值的大小，投影越长表型值越高，所谓表型值就是观察值[31−32]。

1.3.2　西北内陆棉区17个试验环境试点的地理因子

2005—2014年国家棉花品种区域试验西北内陆棉区主要包括新疆维吾尔自治区棉区和甘肃河西走廊棉区，其中早熟棉区主要位于北疆和甘肃棉区，含7个试验点，早中熟棉区主要位于南疆棉区，含10个试验点。各试验环境的名称、代码、经度、纬度和海拔等地理因子详见表1。

2　结果与分析

2.1　西北内陆棉区早熟区域纤维品质特征划分研究

2.1.1　西北内陆早熟棉区纤维品质生态区划分

根据2005—2014年西北内陆棉区早熟组区域试验中纤维品质性状主要指标在7个试验环境中的综合品质表现，依据GGE biplot软件绘制"环境–性状"双标图，分析不同试验环境条件下对纤维品质的影响与相互作用，以及纤维品质的主要指标之间存在不同程度的相关性。从图1和表2中可以看出，纤维长度与整齐度指数、断裂比强度、马克隆值以及纺纱均匀性指数之间的夹角较小，表现为显著正相关或正相关，与黄度值为负相关；马克隆值向量与纤维长度、整齐度以及比强度向量之间的夹角较小，表现为正相关，与黄度为负相关；纤维比强度与纺纱均匀性指数、整齐度指数、长度以及反射率之间的夹角很小，表现为正相关，与黄度为负相关。纺纱均匀性指数与纤维长度、比强度、整齐度指数、马克隆值和反射率之间的夹角较小，表现为正相关；而与黄度之间夹角较大，表现为负相关。针对纺纱均匀性指数与比强度夹角非常小，几乎重叠在一起，他们之间表现极显著正相关，说明纤维的比强度对纺纱性能指标的贡献较大，要提高西北内陆棉区早熟棉区的纤维纺纱能力，必须着重提高纤维断裂比强度指标。

表 1　2005—2014 年西北内陆棉区 17 个区域试验环境的地理因子

Table 1　Geographical factors of 17 test locations in the national cotton regional trials in the Northwest Inland of China from 2005 to 2014

生态区 Ecological region	试验环境 Trial environment	代码 Code	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude
西北内陆棉区早熟组 Early maturing region in Northwest Inland	兵团第八师 121 团 121 Tuan Dibashi	NS8	86°02′	44°18′	400
	兵团第六师昌吉 Changji, Diliushi	NS6	87°33′	44°21′	475
	兵团第七师 125 团 125 Tuan, Diqishi	NS7	85°01′	44°34′	760
	甘肃敦煌 Dunhuang, Gansu	DH	94°10′	40°08′	1 146
	新疆精河 Jinghe, Xinjiang	JH	82°89′	44°60′	509
	新疆石河子 Shihezi, Xinjiang	SHZ	85°94′	44°27′	443
	新疆乌苏 Wusu, Xinjiang	WS	84°62′	44°45′	496
西北内陆棉区早中熟组 Early-medium maturing region in Northwest Inland	新疆阿克苏 Aksu, Xinjiang	AKS	80°29′	41°15′	1 104
	新疆巴州 Bazhou, Xinjiang	BZ	87°92′	39°37′	2 000
	新疆库车 Kuqa, Xinjiang	KC	82°97′	41°68′	1 820
	新疆麦盖提 Maigaiti, Xinjiang	MGT	77°62′	38°95′	1 175
	兵团第三师喀什 Kashi, Disanshi	NS3	75°75′	39°28′	1 289
	兵团第一师阿拉尔 13 团 Alaer 13 Tuan, Diyishi	NS1	80°38′	40°84′	1 100
	新疆莎车 Shache, Xinjiang	SC	77°25′	38°45′	1 350
	新疆轮台 Luntai, Xinjiang	SD	85°94′	44°27′	1 032
	新疆塔河 Tahe, Xinjiang	TH	81°28′	40°55′	1 500
	新疆疏附 Shufu, Xinjiang	SF	75°83′	39°42′	1 333

从图1西北内陆早熟棉区各生态区纤维品质性状的空间关系可以看出，第Ⅰ生态区位于马克隆值向量的反方向上，是马克隆值低值区。第Ⅱ生态区位于各纤维品质向量的平均位置，纤维综合品质表现在平均水平上。第Ⅲ生态区在与马克隆值一致的方向，属于高马克隆值区域。

2.1.2　西北内陆早熟棉区纤维品质性状试点间聚类分析

根据西北内陆早熟棉区各试点试验环境代码(见表1)，通过西北内陆早熟棉区各生态区GGE双标图(如图1)和基于双标图的主成分的聚类图(如图2)可以看出，西北内陆早熟棉区的7个试验环境划分为3个差异显著的纤维品质生态区，其中第Ⅰ生态区包括新疆兵团第六师昌吉和新疆乌苏；第Ⅱ生态区只有1个点即新疆精河；第Ⅲ生态区包括4个点，涵盖了新疆兵团第八师121团、第七师125团、新疆石河子以及甘肃敦煌。通过对“环境–性状”GGE双标图分析的前两个主成分得分的聚类分析，将环境分为几个区，再对各区之间的各性状进行方差分析，检测其显著性，比较各区中各性状的水平，得出各区的优劣或特点。从图1可以看出，试点在各性状向量上的投影长度代表性状在该试点上的水平高低。另一方面，也可直接在图中看试点到性状的距离，距离越近则表现越好。从图1各生态区域纤维品质性状的空间关系还可以看出，第Ⅰ生态区位于马克隆

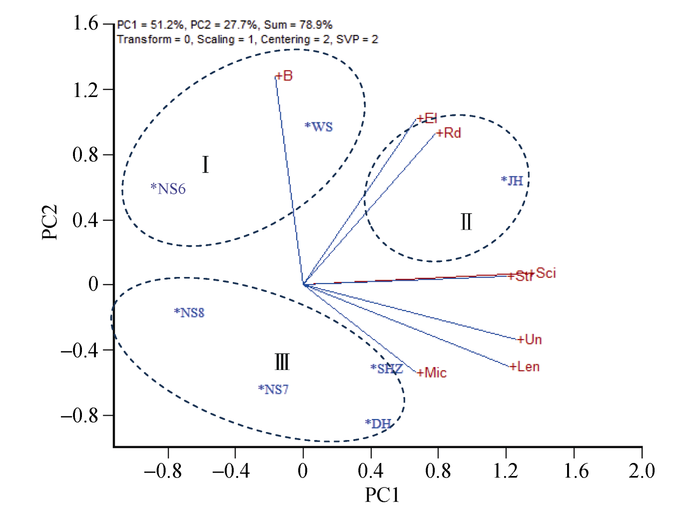


图 1　2005—2014 年西北内陆早熟棉区各生态区纤维品质划分的 GGE 双标图“性状间关系”和“环境聚类”功能图

Fig. 1　“Relationship among traits” and “Environment cluster” views of GGE biplot of ecological regionalization for early maturing cotton fiber quality traits in the Northwest Inland of China from 2005 to 2014

图中+Len、+Str、+Mic、+El、+Rd、+b、+Un 和+Sci 分别表示纤维长度、比强度、马克隆值、伸长率、反射率、黄度、整齐度和纺纱均匀性指数，椭圆形虚线包围化为同一类的试验环境，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ分别表示划分的第Ⅰ、第Ⅱ和第Ⅲ生态区。NS8、NS6、NS7、DH、JH、SHZ、WS 参见表 1。图 2 同。+Len, +Str, Mic, +El, +Rd, +b, +Un, and +Sci stand for fiber length, fiber strength, micronaire, elongation, reflectance, yellowness, uniformity index and spinning consistency index, respectively. Symbols in regular capitals are test environments codes showed in the table 1. Ⅰ, Ⅱ, and Ⅲ surrounded by the dotted ellipses are three ecological sub-regions, respectively. The same as the figure 2.

表 2　2005—2014 年西北内陆早熟棉花区域试验纤维品质性状相关系数

Table 2　Correlation coefficients among early maturing cotton fiber characteristics in cotton regional trials in the Northwest Inland of China from 2005 to 2014

性状 Characteristics	代码 Code	+Len	+Str	+Mic	+El	+Rd	+b	+Un
上半部平均长度 Upper half mean length	+Len	0						
比强度 Strength	+Str	0.685						
马克隆值 Micronaire	+Mic	0.499	0.264					
伸长率 Elongation	+El	0.224	0.424	0.146				
反射率 Reflectance	+Rd	0.174	0.545	−0.108	0.583			
黄度 Yellowness	+b	−0.415	−0.191	−0.219	0.708*	0.488		
整齐度指数 Uniformity index	+Un	0.895**	0.644	0.621	0.225	0.397	−0.255	
纺纱均匀性指数 Spinning consistency index	+Sci	0.850**	0.878**	0.234	0.430	0.627	−0.125	0.845*

"*"表示在 0.05 的水平上显著相关, "**"表示在 0.01 的水平上显著相关。*: Significant correlation at 0.05 probability level; **: Significant correlation at 0.01 probability level. The same as the table 4.

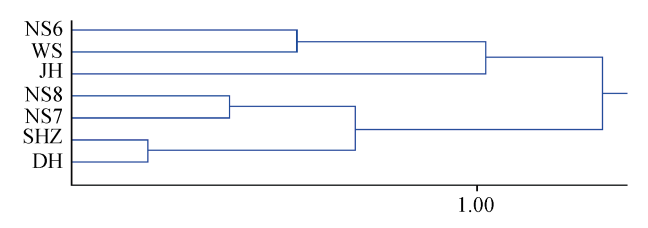


图 2　2005—2014 年西北内陆区域试验环境基于纤维品质的 GGE 双标图主成分得分的聚类图

Fig. 2　Dendrogram of trial environment cluster analysis based on environmental principal component analysis scores using fiber quality GGE biplot analysis of the dataset collected from the regional cotton trials in the Northwest Inland of China from 2005 to 2014

值向量的反方向上，是马克隆值低值区。第Ⅱ生态区位于各纤维品质向量的平均位置，纤维综合品质在平均水平，纺纱均匀性指数与纤维比强度、整齐度指数和马克隆值向量夹角很小，呈锐角关系，故在这些指标上的数值较高，各项指标表现较好，可以划分为优胜的纤维品质性状区域。第Ⅲ生态区试验环境到品质性状的垂直距离大于其他两个生态区，与马克隆值一致的方向，属于高马克隆值区域。

2.1.3　西北内陆早熟棉区纤维品质性状特征划分

各生态区的纤维品质指标平均值和生态区间差异显著性检测结果见表3：纤维的比强度、马克隆值、伸长率以及反射率在3个生态区中的差异不显著；第Ⅰ生态区比强度比第Ⅲ生态区高，但差异不显著；纤维整齐度最低，且显著低于第Ⅱ生态区，说明第Ⅰ生态区的整齐度较差。第Ⅱ生态区的纤维比强度和反射率高于其他生态区，但差异不显著；整齐度和纺纱均匀性指数显著高于其他生态区；纤维长度最高，与第Ⅰ生态区结果差异显著，与第Ⅲ生态区差异不显著。第Ⅲ生态区纤维比强度、反射率以及纺纱均匀性指数最低，但与其他两个生态区的差异不显著，其他纤维品质指标介于第Ⅰ生态区和第Ⅱ生态区之间。

因此，西北内陆棉区早熟棉区域各生态试点间的区域特征划分由优质到普通划分为：第Ⅱ生态区包括精河一带，划分为优质棉纤维生态区，纤维长度大于30 mm、比强度大于31 cN·tex^{-1}，整齐度指数大于86%，马克隆值为A级水平，纺纱均匀性指数大于160，可纺60支及以上的高支纱。第Ⅰ生态区包括兵团第六师昌吉和乌苏地区，划分为普通优质棉生态区，纤维长度和比强度都大于30，整齐度指数大于84%，马克隆值为A级水平，纺纱均匀性指数大于150，可纺50支及以上的高支纱，该区注意综合性状的提高。第Ⅲ生态区(包括敦煌、兵团第七师125团、兵团第八师121团以及石河子垦区)，该区品质为普通纤维生态区，纤维长度和比强度都达到30，整齐度指数大于85%，马克隆值为B级水平，纤维的颜色指标反射率低于80%，纺纱均匀性指数大于150，

表 3　西北内陆棉区早熟组纤维品质生态区特征分析

Table 3　Comparison of early maturing cotton fiber quality characteristics in different ecological sub-regions in the Northwest Inland of China

性状 Characteristics	纤维品质生态区 Fiber quality ecological sub-region		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
纤维长度 Fiber length (mm)	30.126b	30.719a	30.438ab
比强度 Strength (cN·tex^{-1})	30.424a	31.092a	30.253a
马克隆值 Micronaire	4.234a	4.253a	4.266a
伸长率 Elongation (%)	6.612a	6.574a	6.391a
反射率 Reflectance (%)	81.125a	85.419a	78.397a
黄度 Yellowness	7.973a	7.737a	7.325b
整齐度指数 Uniformity index (%)	84.963b	86.411a	85.399b
纺纱均匀性指数 Spinning consistency index	154.733b	163.449a	154.675b

同行不同小写字母表示 5%水平差异显著。Values followed by different letters in the horizontal rows are significantly different at 5% level.

划分为普通优质的高马克隆值区，该区重点注意棉花采收的时间，以避免纤维过成熟，努力降低马克隆值，保证棉花的颜色和等级。

2.2　西北内陆早中熟棉区纤维品质特征划分研究

2.2.1　西北内陆早中熟棉区纤维品质生态区划分

根据2005—2014年西北内陆棉区早中熟组区域试验中纤维品质性状主要指标在10个试验环境中的综合品质表现，依据GGE biplot软件绘制“环境–性状”双标图，分析不同试验环境条件下对纤维品质的影响与相互作用，以及纤维品质的主要指标之间存在不同程度的相关性。由图3和表4可见，纺纱均匀性指数向量和纤维比强度、纤维长度向量之间的夹角很小，表现为极显著正相关，与纤维的整齐度指数之间的夹角比较小，表现为显著正相关，而与马克隆值、伸长率之间的夹角较大，表现为负相关。纺纱均匀性指数是衡量纤维品质的综合指标，与纤维长度、整齐度以及比强度正相关，说明原棉的纺纱性能提高主要取决于这3个指标。纺纱均匀性指数与马克隆值呈负相关，说明纤维过度成熟或者不成熟对纤维的纺纱性能均有不利影响；马克隆值和断裂伸长率之间的夹角极小，表现为显著正相关，与纤维的比强度、反射率以及黄度之间的夹角较大，表现为负相关。

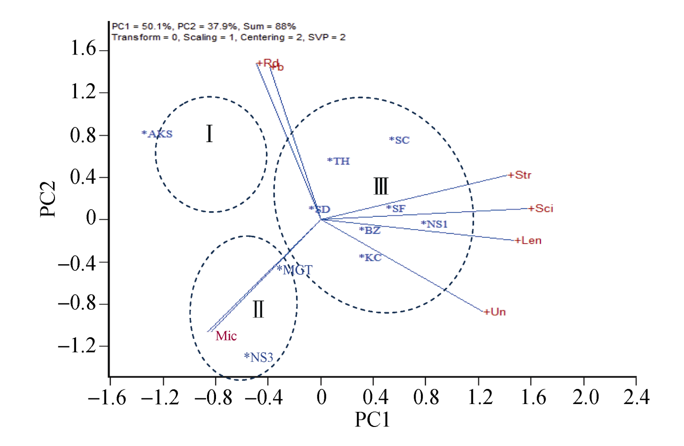


图 3　2005—2014 年西北内陆早中熟棉花纤维品质生态区划分的 GGE 双标图

Fig. 3　GGE biplot of ecological regionalization based on early-medium maturing cotton fiber quality characteristics in the Northwest Inland from 2005 to 2014

表 4　2005—2014 年西北内陆早中熟棉花区域试验纤维品质性状相关系数

Table 4　Correlation coefficients among early-medium cotton fiber characteristics in cotton regional trials in Northwest Inland of China from 2005 to 2014

性状 Characteristic	代码 Code	+Len	+Str	+Mic	+El	+Rd	+b	+Un
上半部平均长度 Upper half mean length	+Len	/						
比强度 Strength	+Str	0.768*						
马克隆值 Micronaire	+Mic	−0.433	−0.605					
伸长率 Elongation	+El	−0.350	−0.635	0.659*				
反射率 Reflectance	+Rd	−0.418	−0.006	−0.397	−0.527			
黄度 Yellowness	+b	−0.280	−0.013	−0.509	−0.406	0.876**		
整齐度指数 Uniformity index	+Un	0.754*	0.491	−0.004	−0.127	−0.746*	−0.673**	
纺纱均匀性指数 Spinning consistency index	+Sci	0.900**	0.918**	−0.583	−0.575	−0.253	−0.167	0.740*

2.2.2　西北内陆棉区早中熟区域纤维品质性状试点间聚类分析

根据由西北内陆棉区早中熟生态区域各试点试验环境代码(表1)，通过西北内陆棉区早中熟生态区GGE双标图(图3)和基于双标图的主成分聚类图(图4)可以看出，西北内陆早中熟棉区的10个试验环境划分为3个差异显著的纤维品质生态区。其中第Ⅰ生态区只有新疆阿克苏1个试点；第Ⅱ生态区包括新疆麦盖提和农三师；第Ⅲ生态区包括7个试验环境，涵盖了新疆莎车、石大试验站(轮台)、巴州、库车、疏附、兵团第一师阿拉尔13团以及新疆塔河10团，是西北内陆早中熟棉花生产区。

从各生态区域纤维品质性状的空间关系可以看出(图3)，第Ⅰ生态区位于纤维长度、比强度、整齐度指数以及纺纱均匀性指数向量的反方向，说明纤维的综合品质相对较差。第Ⅱ生态区在马克隆值向量的正方向，因而属于高马克隆值区域，其他品质指标位于平均水平。第Ⅲ生态区位于纤维长度、比强度、整齐度以及纺纱均匀性指数向量的相同方向，其纤维综合品质较好，其中纤维比强度向量的正方向上投影最长，比强度最高，与纤维长度、整齐度指数以及纺纱均匀性指数向量呈锐角关系，故在这些指标上表现较好，而且与马克隆值向量呈钝角关系，马克隆值较低，可见，相比之下第Ⅲ生态区是综合纤维品质最好的生态区域。

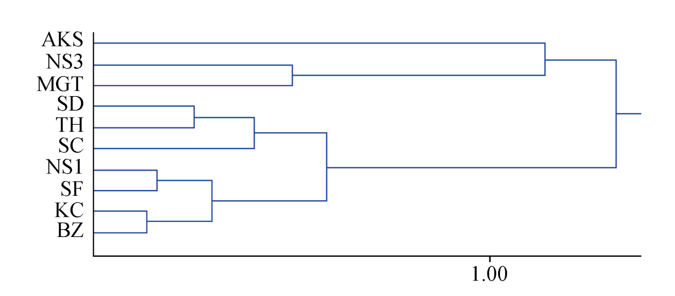


图 4　2005—2014 年西北内陆区域试验环境基于 GGE 双标图主成分得分的聚类图

Fig. 4　Dendrogram of test environment clustering based on the principal component analysis scores of GGE biplot analysis of the Northwest Inland of China from 2005 to 2014

2.2.3　西北内陆棉区早中熟区域纤维品质性状特征划分

各生态区的纤维品质指标平均值和生态区间差异显著性检测结果(表 5)，纤维品质指标在生态区间差异较大。第Ⅰ生态区纤维长度、比强度、整齐度指数、纺纱均匀性指数低于其他两个生态区，且整齐度与纺纱均匀性指数偏低达到显著水平，黄度偏高达到显著水平，说明该生态区域的纤维品质综合水平较低。第Ⅱ生态区的纤维长度、比强度、整齐度指数以及纺纱均匀性指数的指标均处于其他两个生态区之间，且整齐度指数与纺纱均匀性指数显著高于第Ⅰ生态区，马克隆值显著高于第Ⅲ生态区，说明该生态区代表了西北内陆棉区早中熟棉花纤维品质的中等水平。第Ⅲ生态区纤维长度、比强度、整齐度指数以及纺纱均匀性指数均高于其他两个生态区，且纤维长度、整齐度指数、纺纱均匀性指数显著高于第Ⅰ生态区，马克隆值显著低于第Ⅱ生态区，说明该生态区纤维综合品质相对最好，是西北内陆早中熟棉区优良纤维品质生产区域。第Ⅲ生态区涵盖区域最广，代表西北内陆棉区总体综合纤维品质处于良好水平。

表 5　西北内陆早中熟棉花纤维品质的生态区特征分析

Table 5　Early-medium cotton fiber quality characteristics in different ecological sub-regions in the Northwest Inland of China

性状 Characteristic	纤维品质生态区 Fiber quality ecological sub-region		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
上半部平均长度 Upper half mean length	28.936b	29.724ab	30.199a
比强度 Strength	29.055a	29.624a	30.214a
马克隆值 Micronaire	4.536ab	4.637a	4.429b
伸长率 Elongation	6.625a	6.622a	6.408a
反射率 Reflectance	81.600a	78.119b	78.544b
黄度 Yellowness	7.844a	7.303b	7.416ab
整齐度指数 Uniformity index	83.454b	85.070a	85.240a
纺纱均匀性指数 Spinning consistency index	136.484b	146.526a	151.951a

西北内陆棉区早中熟区域各生态试点间的区域特征划分由优质到普通划分为：第Ⅲ生态亚区(新疆莎车、轮台、巴州、库车、疏附、阿拉尔第一师 13 团、新疆塔河 10 团)>第Ⅱ生态亚区(新疆麦盖提、兵团第三师喀什)>第Ⅰ生态亚区(新疆阿克苏)。第Ⅲ生态区，划分为优质棉纤维生态区，纤维长度大于 30.0 mm、比强度大于 30.0 cN·tex^{-1}，即达到“双 30”，整齐度指数大于 85.0%，马克隆值为 B 级水平，纺纱均匀性指数大于 150，可纺 50 支及以上的高支纱；第Ⅱ生态区划分为普通优质棉生态区，纤维长度和比强度都稍低于 30 mm，整齐度指数大于 85 %，马克隆值达到 B 级中等水平，为马克隆值相对高值区，纺纱均匀性指数大于 140，可纺 40 支及以上的中等支纱；第Ⅰ生态区为普通纤维生态区，纤维品质综合水平较低，应注意综合纤维品质性状的提高，尤其注重提高长度和比强度。

3　讨论和结论

我国西北内陆棉区棉花种植区域广阔，生态条件复杂多样，科学划分棉区有利于发挥区域环境条件优势，促进棉花纤维的生产与应用，根据棉花品种纤维品质表现及其地域分布特征，建立棉花优势生产区和发展优势类型，具有指导性的意义。南疆地区以早中熟类型为主，北疆地区以早熟类型为主。近10年来西北内陆棉区早熟棉区植棉面积迅速扩大，尤其新疆北疆棉区随着全球气候逐渐变暖而大幅增加，这个区域通过抗旱节水、肥料配比、栽培技术等手段提高植棉水平，改善纤维品质。本文通过研究表明各纤维品质性状都不是独立的，相互之间存在着性质和程度不同的相关关系，纺纱均匀性指数与长度、比强度和整齐度指数表现极显著或显著正相关，这与余渝[33]研究的结论基本一致。因此，在国家棉花区域试验品种审定过程中，对纤维品质的评价，不仅要看纤维的长度、比强度和马克隆值，还要参考纤维的整齐度指数，这是决定品种品质好坏的一个重要指标，建议在品种审定时可将整齐度指数和纺纱均匀性指数也作为参考依据。

棉花品种的基因型与环境互作现象在品种试验中受作物生长环境，如土壤类型、海拔高度、气候条件、栽培措施等多因素的影响，在年际间和不同生态点间的表现差异很大，棉花纤维品质指标与各生态区气候因子(温度、光照、降水、湿度)有较好的相关性。西北内陆棉区日照充足、降水量小、平均

相对湿度较低，是优质棉生产的最佳区域，其棉纤维长度、马克隆值、品级等品质指标均居国内各棉区首位。但还是缺乏长度在31.0 mm 以上，比强度在32.0 cN·tex^{-1}以上，马克隆值在3.7~4.2的可纺60支以上细纱的优质棉品种。

目前我国棉花品种审定标准主要根据品种在整个目标环境中的平均表现进行评价和推荐审定，因此也是一种广适性品种选择方法。西北内陆棉区区域试验总体表现是合理的，但还需要对试验点布局和品种评价标准进行适当的调整[34]，尤其早熟区域布点数应该再增加几个试点，以进一步提高试验的有效性和区域划分的科学性，从而更有针对性地对品种进行筛选、审定与推广应用。Bilgin等[35]应用GGE双标图的“适宜品种与环境组合”功能图基于品种产量选择对基因型与试验环境互作模式进行探索。本研究应用GGE双标图的“适宜品种与环境组合”功能图基于品种纤维长度、比强度、马克隆值和纺纱均匀性指数等性状选择与试验环境互作模式进行探索性划分，并对各次试验的双标图上位于同一最佳扇区中的试验环境组合进行分析，形成基于品质性状选择的品种生态区划分。建立在纤维品质基础上的生态区的划分，为西北内陆棉区广适性和特殊适应性棉花品种选育应用提供决策支持，也作为理想品种试验环境选择方案提供理论依据。

西北内陆棉区北疆地区精河一带日照充足、降水量小、平均相对湿度较低，是优质棉生产的最佳区域，较为突出特点是棉花的纤维成熟度好，棉纤维长度伸长充分，且马克隆值表现最佳，能够满足纺织企业纺高支纱配棉需求，而且颜色等级好。西北内陆早熟棉区的兵团第六师昌吉和乌苏，位于马克隆值最佳区域，纤维综合品质表现较好。敦煌、兵团第七师125团、兵团第八师121团下野地垦区以及石河子中片垦区重点要注意降低马克隆值，提高纤维长度和比强度，尤其比强度指标相对于全国来比较，由于气候原因同一品种在新疆地区种植纤维比强度表现偏低。所以西北内陆早熟棉区引进参试品种时，在注重品种早熟性选育的基础上，注重优质纤维综合品质性状的培育，提高纤维的比强度。

西北内陆棉区早中熟区域各生态试点的区域特征由优质到普通可划分为3个品质生态区：第Ⅲ生态区(新疆莎车、石河子大学南疆试验站(轮台)、巴州、库车、疏附、第一师阿拉尔13团和新疆塔河10团)，第Ⅱ生态区(新疆麦盖提和兵团第三师喀什)，第Ⅰ生态区(新疆阿克苏)。通过分析提出合理建议，西北内陆棉区南疆地区的早中熟棉区，注重推选适合机采棉长度和比强度的棉花品种外，应精准掌握合理的棉花采摘期，提高纤维成熟度，但要降低马克隆值，划分优化种植区域为棉纺企业合理用棉提供多层次的原棉材料。西北内陆早熟棉区应加强比强度的筛选和提高，以适应现代化的机采棉技术对比强度值更高要求，依据纤维品质生态区划，充分做好已有品种的种植区域布局，同时注重培育综合品质性状优良的新品种。

参考文献　References

[1] 王燕玲．中国棉花生产区域分析与展望[J]．农业展望，2011(12): 38–42
Wang Y L. Regional analysis and prospect of cotton production in China[J]. Agricultural Outlook, 2011(12): 38–42

[2] 李辉．中国新疆棉花产业国际竞争力研究[D]．武汉：华中农业大学, 2006
Li H. Research on international competitiveness of Xinjiang’s cotton industry in China[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006

[3] Foulk J, Meredith W, McAlister D, et al. Fiber and yarn properties improve with new cotton cultivar[J]. Journal of Cotton Science, 2009, 13(3): 212–220

[4] 朱绍琳，李大庆，华国雄，等．江苏不同生态棉区与棉花纤维品质的研究[J]．棉花学报, 1991, 3(1): 53–62
Zhu S L, Li D Q, Hua G X, et al. Study on relationship of cotton fiber quality and environments in different ecological areas in Jiangsu Province[J]. Cotton Science, 1991, 3(1): 53–62

[5] 冯泽芳．中国之棉区与棉种[C]//冯泽芳先生棉业论文选集．南京：中国棉业出版社, 1948: 124–131
Feng Z F. The cotton region and cultivars in China [C]//Mr. Feng Zefang Selected Papers of the Cotton Industry. Nanjing: China Cotton Industry Press, 1948: 124–131

[6] 姚源松．新疆棉花区划新论[J]．中国棉花, 2001, 28(2): 2–5
Yao Y S. The new theory of cotton division in Xinjiang[J]. China Cotton, 2001, 28(2): 2–5

[7] 许乃银，陈旭升，狄佳春，等．长江流域棉花纤维品质的区域特征研究[J]．棉花学报, 2003, 15(4): 221–226
Xu N Y, Chen X S, Di J C, et al. Studies on the regional characteristics of cotton fiber quality in Yangtze Valley[J]. Cotton Science, 2003, 15(4): 221–226

[8] 许乃银，李健．利用 GGE 双标图划分长江流域棉花纤维品质生态区[J]．作物学报, 2014, 40(5): 891−898
Xu N Y, Li J. Ecological regionalization of cotton fiber quality based on GGE biplot in Yangtze River valley[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(5): 891–898

[9] 苏涛，封国林．基于不同再分析资料的全球蒸发量时空变化特征分析[J]．中国科学：地球科学, 2015, 45(3): 351–365
Su T, Feng G L. Spatial-temporal variation characteristics of global evaporation revealed by eight reanalyses[J]. Science China: Earth Sciences, 2015, 45(3): 351–365

[10] 陈付贵，陈荣江，王清连．黄河流域杂交棉纤维品质的区

域特征研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(8): 95–100
Chen F G, Chen R J, Wang Q L. Research on the district traits of the fiber quality of the cross-bred cotton in the Yellow River zone[J]. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2008, 36(8): 95–100
[11] 余隆新, 唐仕芳, 王少华, 等. 湖北省棉纤维品质生态区划及研究[J]. 棉花学报, 1993, 5(2): 15–20
Yu L X, Tang S F, Wang S H, et al. The study on the ecological classification of the fiber quality of upland cotton in Hubei Province[J]. Cotton Science, 1993, 5(2): 15–20
[12] 黄滋康, 崔读昌. 中国棉花生态区划[J]. 棉花学报, 2002, 14(3): 185–190
Huang Z K, Cui D C. Ecological regionalization of cotton production in China[J]. Cotton Science, 2002, 14(3): 185–190
[13] 范治源. 新疆棉花农业气候区划[J]. 作物学报, 1965, 4(1): 71–82
Fan Z Y. Agricultural climatic regionalization of cotton in Xinjiang[J]. Acta Agronomica Sinica, 1965, 4(1): 71–82
[14] 许乃银. 基于GGE模型的棉花品种生态区划分与试验环境评价[D]. 南京: 南京农业大学, 2012
Xu N Y. Cotton megaenvironment investigation and test environment evaluation based on GGE model[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012
[15] 俞世蓉. 作物品种适应性和产量稳定性问题探讨[J]. 南京农业大学学报, 1989, 12(3): 17–23
Yu S R. A discussion on adaptability and yield stability of cultivars[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 1989, 12(3): 17–23
[16] 王磊, 杨仕华. 作物品种区试数据分析的主效可加互作可乘模型(AMMI)图形[J]. 南京农业大学学报, 1998, 21(2): 18–23
Wang L, Yang S H. Additive main effects and multiplicative iteraction model (AMMI) graphs used in the plant variety trial data analysis[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 1998, 21(2): 18–23
[17] Crossa J, Fox P N, Pfeiffer W H, et al. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1991, 81(1): 27–31
[18] Ebdon J S, Gauch H G. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials: I. Interpretation of genotype × environment interaction[J]. Crop Science, 2002, 42(2): 489–496
[19] Yan W K, Kang M S, Ma B L, et al. GGE Biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data[J]. Crop Science, 2007, 47(2): 643–653
[20] Yan W K, Tinker N A. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2006, 86(3): 623–645
[21] Yan W K, Kang M S. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders Geneticists, and Agronomists[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 2002
[22] Bradu D, Gabriel K R. The biplot as a diagnostic tool for models of two-way tables[J]. Technometrics, 1978, 20(1): 47–68
[23] 罗俊, 许莉萍, 邱军, 等. 基于HA-GGE双标图的甘蔗试验环境评价及品种生态区划分[J]. 作物学报, 2015, 41(2): 214–227
Luo J, Xu L P, Qiu J, et al. Evaluation of sugarcane test environments and ecological zone division in China based on HA-GGE biplot[J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(2): 214–227
[24] 尚毅, 李少钦, 李殿荣, 等. 用双标图分析油菜双列杂交试验[J]. 作物学报, 2006, 32(2): 243–248
Shang Y, Li S Q, Li D R, et al. GGE biplot analysis of diallel cross of *B. napus* L.[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(2): 243–248
[25] 周长军, 田中艳, 李建英. 双标图法分析大豆多点试验中品系产量稳定性及试点代表性[J]. 大豆科学, 2011, 30(2): 318–321
Zhou C J, Tian Z Y, Li J Y. GGE-biplot analysis on yield stability and testing-site representativeness of soybean lines in multi-environment trials[J]. Soybean Science, 2011, 30(2): 318–321
[26] 常磊, 柴守玺. GGE双标图在我国旱地春小麦稳产性分析中的应用[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 988–994
Chang L, Chai S X. Application of GGE biplot in spring wheat yield stability analysis in rainfed areas of China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(5): 988–994
[27] 许乃银, 张国伟, 李健, 等. 基于GGE双标图和比强度选择的棉花品种生态区划分[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(11): 1500–1507
Xu N Y, Zhang G W, Li J, et al. Investigation of cotton mega-environment based on fiber strength selection and GGE biplot[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(11): 1500–1507
[28] Yan W K, Holland J B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation[J]. Euphytica, 2010, 171(3): 355–369
[29] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用[J]. 作物学报, 2010, 36(11): 1805–1819
Yan W K. Optimal use of biplots in analysis of multi-location variety test data[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(11): 1805–1819
[30] Xu N Y, Fok M, Zhang G W, et al. The application of GGE biplot analysis for evaluating test locations and mega-environment investigation of cotton regional trials[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(9): 1921–1933
[31] Yan W K. GGEbiplot—A windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data[J]. Agronomy Journal, 2001, 93(5): 1111–1118
[32] Yan W K. Crop Variety Trials: Data Management and Analysis[M]. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2014
[33] 余渝. 新疆兵团棉花品质现状与品质生态区划研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005
Yu Y. Study on cotton fibre quality current status and cotton fibre quality ecological compartmentalization of Xinjiang formation[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005
[34] 金石桥, 许乃银. GGE双标图在中国农作物品种试验中应用的必要性探讨[J]. 种子, 2012, 31(12): 89–92
Jin S Q, Xu N Y. The discuss of necessity about GGE Double labeling chart applied in crop variety experiment in China[J]. Seed, 2012, 31(12): 89–92
[35] Bilgin O, Guzmán C, Başer İ, et al. Evaluation of grain yield and quality traits of bread wheat genotypes cultivated in northwest Turkey[J]. Crop Science, 2016, 56(1): 73–84